中国科学院高能物理研究所

季度考核报告

王书栋

导师: 方亚泉

2023.01.06

高能量组研究生季度考核

实验物理中心

研究工作

- 深度学习算法在CEPC上Higgs衰变事例分类的应用
- ATLAS上boosted W/Z喷注标记研究
- ATLAS ITk 硅微条探测器项目中IHEP站点生产流程管理网页开发
- ATLAS ITk硅微条探测器CSNS站点辐照测试研究中ColdBox的设计
- 其他工作
  - CEPC上顶夸克电弱耦合测量研究
  - ATLAS ITk 硅微条探测器模块生产

深度学习算法在CEPC上Higgs衰变事例分类的应用

- **动机**：我们想要在CEPC上同时对Higgs衰变中可行的（统计量足够高）9个道($H \to b\bar{b},\ c\bar{c}, \mu^+\mu^-, \tau^+\tau^-, gg, \gamma\gamma, WW^*, ZZ^*, Z\gamma$)进行分支比测量，以期取得测量精度的提高，而解决这些道之间的相互污染是个重要问题，即提高衰变末态鉴别效率非常重要。

- 同时测量这9个道，鉴别效率成为矩阵的形式 $\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & \cdots & \epsilon_{19} \\ \epsilon_{21} & \epsilon_{22} & \cdots & \epsilon_{29} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \epsilon_{91} & \epsilon_{92} & \cdots & \epsilon_{99} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_9 \end{pmatrix}$，而该矩阵的(det)²与分支比的cov成反比 $\Sigma^{\mathbf{B}} \propto \frac{1}{(N_t^e)^2 |\mathbf{E}|^2}$

- **目的**：研究 应用深度学习方法同时进行Higgs衰变末态多分类，提高Higgs衰变事例鉴别分类效率 这一途径的可行性

- **方法**：使用CEPC软件框架进行快速模拟产生MC样本，将事例中每个粒子的四动量，电荷，IP和PID作为输入变量，应用Particle Flow Network(PFN)分别对4个Higgs产生模式($e^+e^-H, \mu^+\mu^-H, \tau^+\tau^-H, q\bar{q}H$)的9个衰变道进行分类，应用ParticleNet对前述共36个道以及3个主要不可约本底过程($e^+e^- \to ZZ_l, e^+e^- \to ZZ_{sl}, e^+e^- \to ZZ_h$)进行分类，并优化超参数以提高性能。

- **结果**：用PFN对4个Higgs产生模式($e^+e^-H, \mu^+\mu^-H, \tau^+\tau^-H, q\bar{q}H$)的9个衰变道进行分类：

Efficiencies (left) and AUCs (right) of four classifiers.

Decay mode	e^+e^-H		$\mu^+\mu^-H$		$\tau^+\tau^-H$		$q\bar{q}H$	
	EFF	AUC	EFF	AUC	EFF	AUC	EFF	AUC
$H \to c\bar{c}$	0.880	0.991	0.882	0.991	0.857	0.987	0.755	0.966
$H \to b\bar{b}$	0.908	0.994	0.893	0.994	0.877	0.991	0.733	0.972
$H \to \mu^+\mu^-$	0.997	1.000	0.986	1.000	0.981	1.000	0.983	1.000
$H \to \tau^+\tau^-$	0.993	0.999	0.985	0.999	0.985	0.999	0.982	0.999
$H \to gg$	0.810	0.985	0.830	0.986	0.816	0.982	0.736	0.954
$H \to \gamma\gamma$	0.997	1.000	0.999	1.000	1.000	1.000	0.997	1.000
$H \to ZZ^*$	0.650	0.958	0.667	0.960	0.585	0.947	0.535	0.926
$H \to WW^*$	0.806	0.981	0.801	0.981	0.771	0.974	0.632	0.952
$H \to \gamma Z$	0.921	0.996	0.936	0.996	0.910	0.993	0.896	0.993

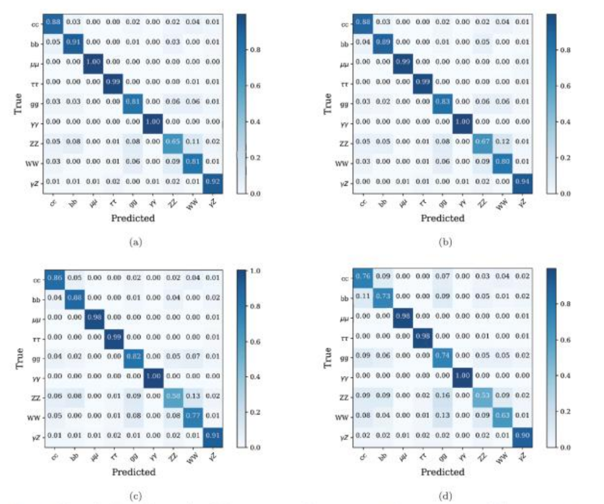


Fig. 4. (color online) Confusion matrices of (a): $e^+e^- \to e^+e^-H$, (b): $e^+e^- \to \mu^+\mu^-H$, (c): $e^+e^- \to \tau^+\tau^-H$, and (d): $e^+e^- \to q\bar{q}H$.

深度学习算法在CEPC上Higgs衰变事例分类的应用

- **结果**：用ParticleNet对36个反应道和3个主要不可约本底过程进行分类：

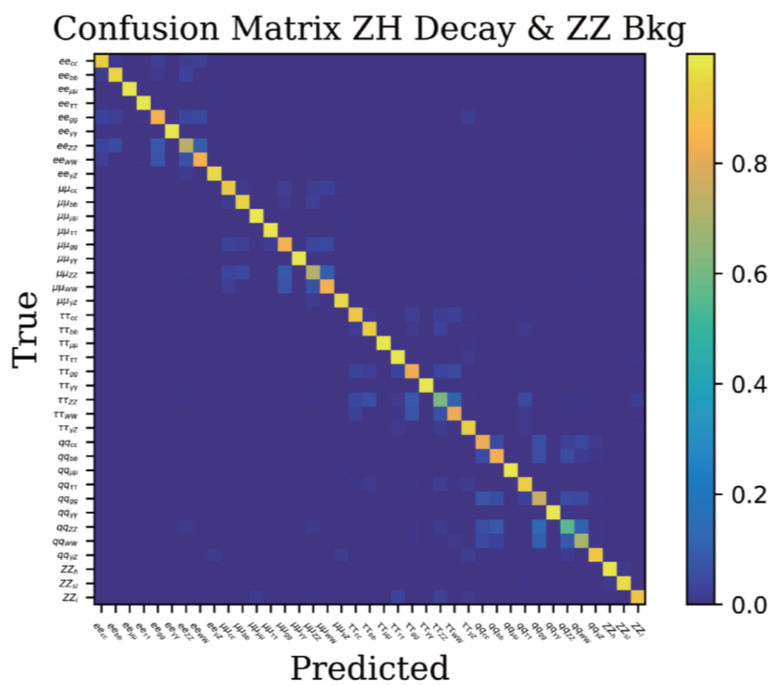


Fig. 5. (color online) Confusion matrix of the 39-category classification.

通过这一途径进行Higgs衰变末态多分类，获取效率矩阵的方法便捷可行，为Higgs多个衰变分支比同时拟合和测量奠定基础

- **本人主要工作：**

✓ 部分MC样本的产生；网络的训练和优化；撰写修改部分文章

- **本季度主要工作：**

✓ 根据审稿人意见改进文章内容，与编辑沟通校对文章排版

- 文章发表于CPC(通讯作者之一)：DOI: [10.1088/1674-1137/ac7f21](https://doi.org/10.1088/1674-1137/ac7f21)


Chinese Physics C Vol. 46, No. 11 (2022) 113001

Classify the Higgs decays with the PFN and ParticleNet at electron–positron colliders*

Abstract: Various Higgs factories are proposed to study the Higgs boson precisely and systematically in a model-independent way. In this study, the Particle Flow Network and ParticleNet techniques are used to classify the Higgs decays into multicategories, and the ultimate goal is to realize an "end-to-end" analysis. A Monte Carlo simulation study is performed to demonstrate the feasibility, and the performance looks rather promising. This result could be the basis of a "one-stop" analysis to measure all the branching fractions of the Higgs decays simultaneously.

Keywords: the Higgs Boson, event classification, Particle Flow Network, ParticleNet

DOI: 10.1088/1674-1137/ac7f21

I. INTRODUCTION

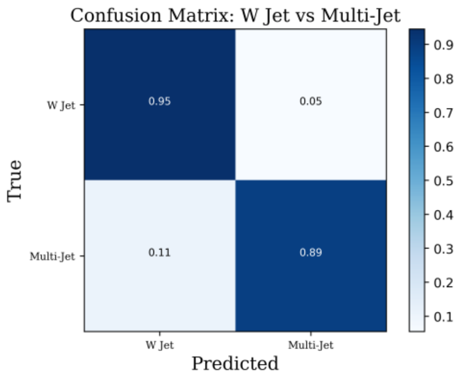
- **Bonus:**

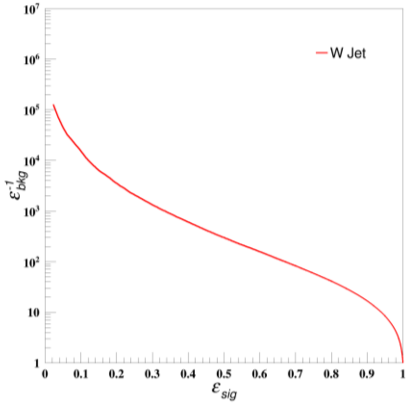
- 在IHEP ML Innovation Group会议上开展一次ParticleNet的Tutorial

https://indico.ihep.ac.cn/event/18059/

ATLAS上boosted W/Z喷注鉴别研究

- **动机**：基于粒子级信息的喷注鉴别算法，例如ParticleNet，表现强大的性能，令人印象深刻并被CMS用作官方推荐的喷注鉴别算法。在ATLAS的顶夸克喷注鉴别的相关结果中(ATL-PHYS-PUB-2022-039)，此类算法的性能也远超传统方法。因此，将基于粒子级信息的喷注鉴别算法，应用在ATLAS上的W/Z喷注的鉴别任务上，探索其性能表现，是自然且重要的研究课题。
- **目的**：将基于粒子级信息的喷注鉴别算法，应用在ATLAS上的boosted W/Z喷注的鉴别任务上，并最终推动其成为ATLAS官方推荐的boosted W/Z喷注鉴别方法。





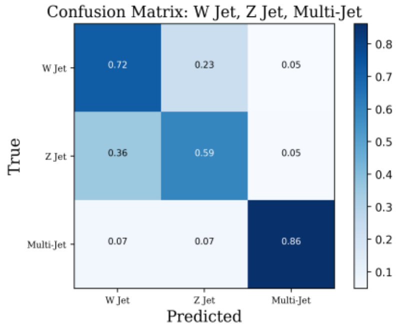
$1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 50% : 299

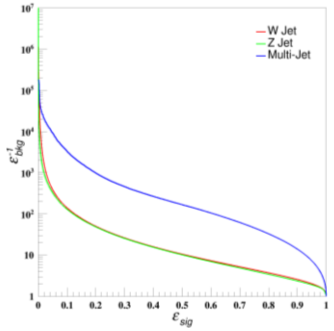
$1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 80% : 41

- **本季度工作进展-1：**

✓ 针对本研究发展数据预处理流程

✓ 应用ParticleNet和ParticleTransformer到W jet vs QCD jet、 Z jet vs QCD jet和W/Z/QCD 三分类任务中，初步结果显示二者的性能表现大幅超过前人工作中（ATL-PHYS-PUB-2021-029）算法的性能





W: $1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 50% : 10.55

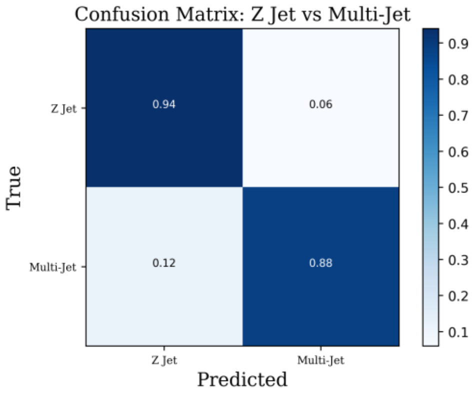
$1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 80% : 3.72

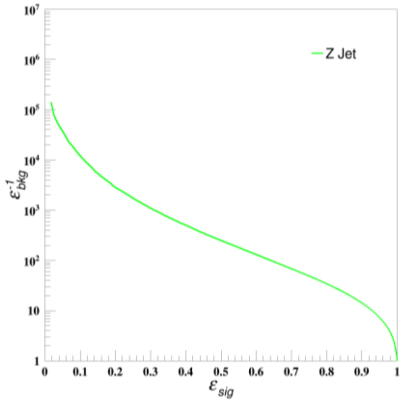
Z: $1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 50% : 10.19

$1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 80% : 3.44

MJ: $1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 50% : 167.46

$1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 80% : 32.96



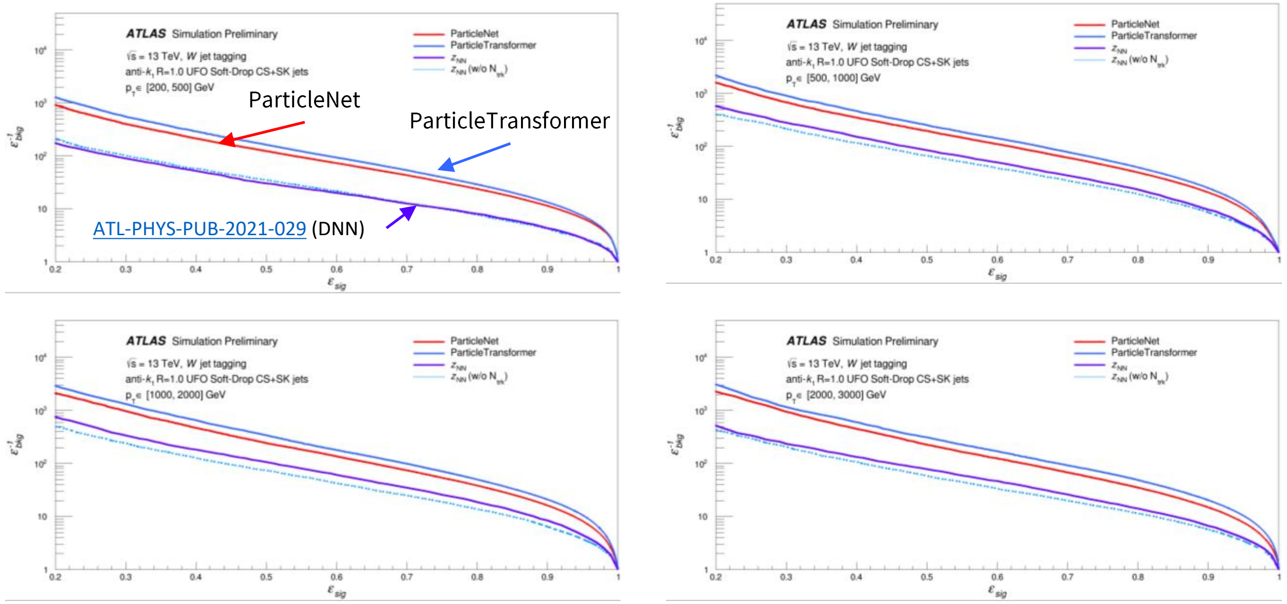


$1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 50% : 249

$1 / \varepsilon_{bkg}$ @ ε_{sig} = 80% : 34

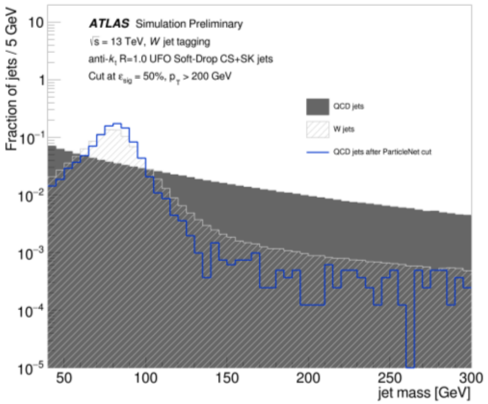
ATLAS上boosted W/Z喷注鉴别研究

- **本季度工作进展-2：**
- ✓ 数次在ATLAS jet tagging and scale factors combined performance group 组会上给报告
- ✓ 发现Mass Sculpting现象，与其他深度学习算法一致，将针对这一现象进行Mass Decorrelation的研究
- ✓ 将于6th ATLAS Machine Learning Forum报告该研究

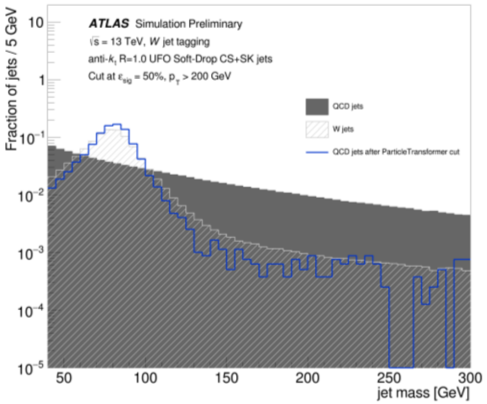


Background rejection (1 / ε_{bkg}) as a function of W-jet signal efficiency (ε_{sig}), in different p_T range.

对W tagging，在 ε_{sig}相同时，rejection power平均提升~4倍



ParticleNet



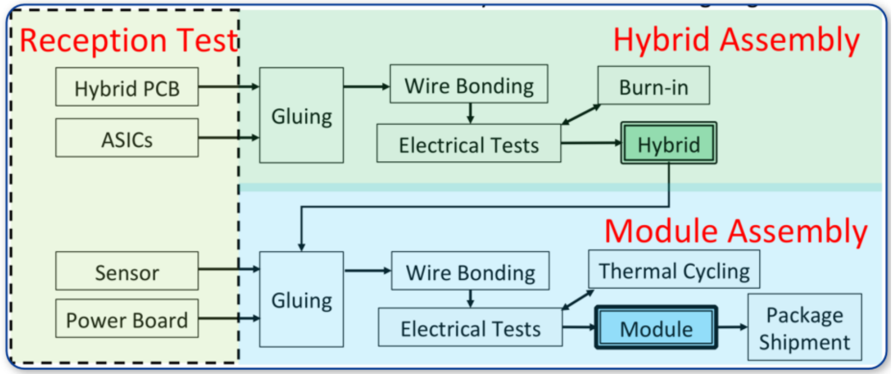
ParticleTransformer

Mass Sculpting

wangsd@ihep.ac.cn

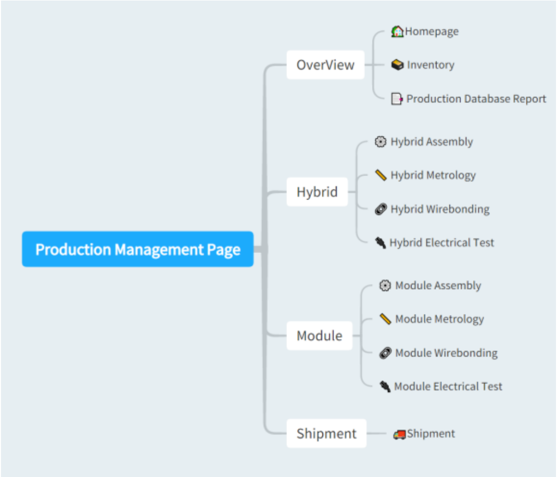
ATLAS ITk 硅微条探测器项目中IHEP站点生产流程管理网页开发

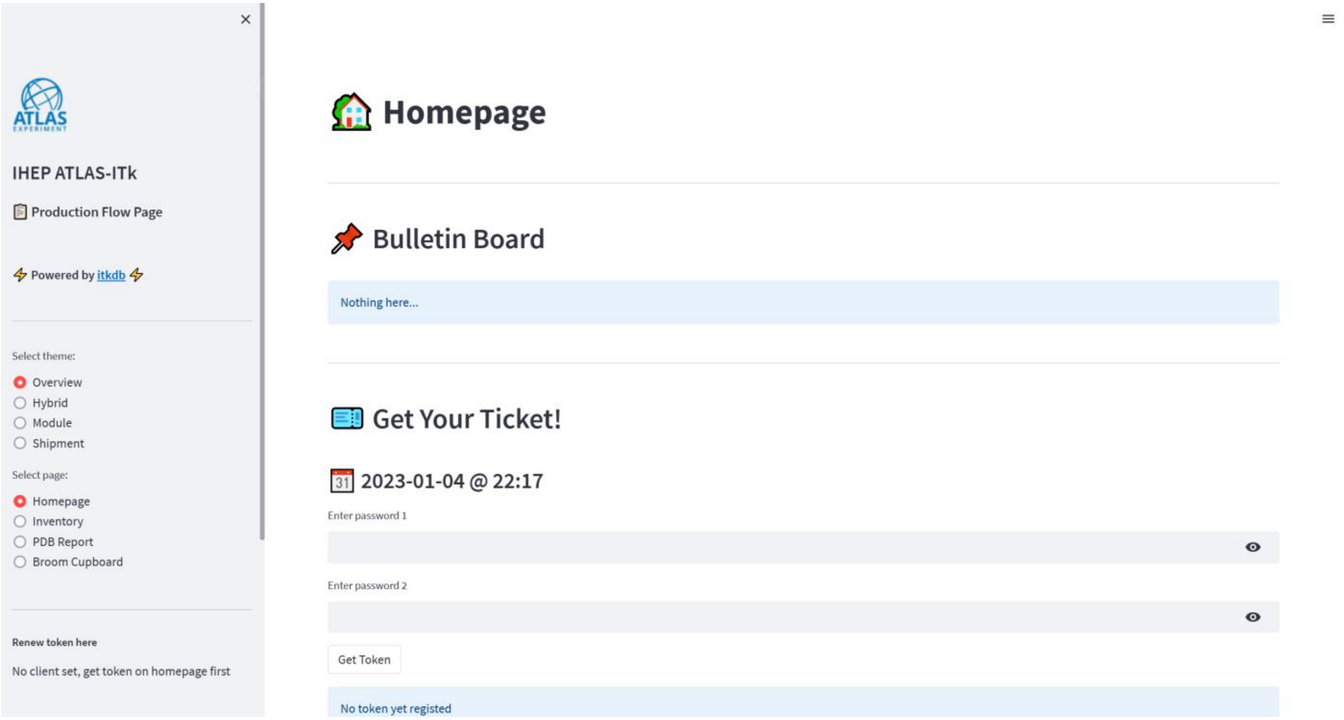
- **动机**：高能所承担的ATLAS ITk (Inner Tracker)硅微条探测器模块生产任务中，涉及大量步骤和不同的非全职操作人员，生产过程中有大量数据需要记录和上传到中央数据库。在实践中发现，生产协调管理没有规范的途径，导致生产效率低下；操作步骤繁多容易出错；数据记录方式不统一且往往与数据上传脱节，不能及时上传到中央数据库等问题。我们需要尽可能地缓解上述问题。
- **目标**：开发IHEP站点的生产流程管理网页，作为辅助性的工具提高生产效率和质量。



- **本季度工作进展：**

✓利用Streamlit Python包，快速搭建网页基本架构
✓实现用户登录和权限控制功能
✓实现生产任务下发和生产任务执行状态监控功能
✓已将部分生产步骤的标准操作规程写入网页，辅助操作员工作，降低误操作、漏操作的可能性
✓实现生产数据的本地结构化存储记录





ATLAS ITk 硅微条探测器CSNS站点辐照测试研究中ColdBox的设计

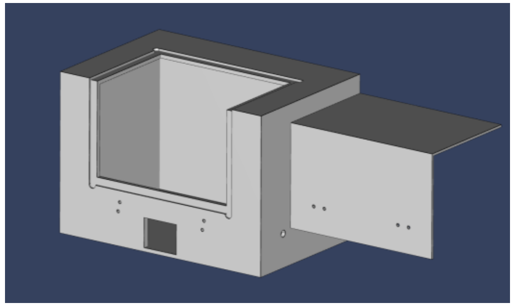
- **动机**：ATLAS ITk的硅微条探测器的探测芯片全部由Hamamatsu Photonics K.K.(HPK)生产，质量保证（Quality Assurance，QA）是为了使人们相信质量要求将在生产中得到满足。我们希望验证在CSNS上的伴生质子束实验平台(Associated Proton Experiment Platform, APEP)进行质子辐照来用于ITk strip sensor的QA的可能性，并使得IHEP-CSNS成为QA站点之一。辐照测试需要一定的温湿度(-20°C，RH~10%)环境，需要设计ColdBox来提供和维持这样的环境。
- **目标**：设计和装配能够提供符合要求的环境且可靠的ColdBox

- **本季度工作进展：**

✓设计第一版ColdBox，利用半导体制冷片控制温度，干燥空气控制湿度，达到温湿度控制要求，已用于一次辐照测试

✓根据第一版的使用反馈（难以安装，气密性差，温湿度监控不便，辐照区域亚克力板老化），更新设计第二版ColdBox

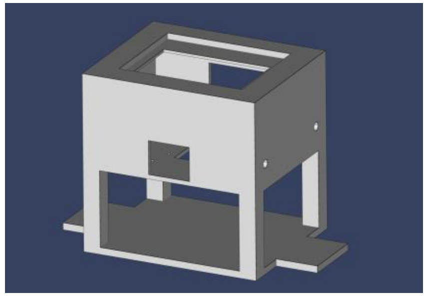
✓由于第二版ColdBox改动较多（设计更为紧凑，提升气密性，用树莓派进行温湿度远程监控），正在利用3D打印快速生产原型以验证设计



ColdBox V1

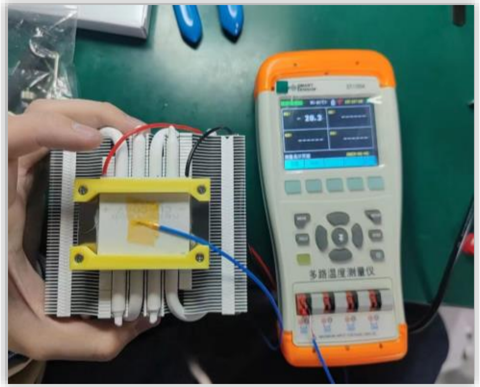
Cooler for V1

ColdBox V1 @ CSNS-APEP

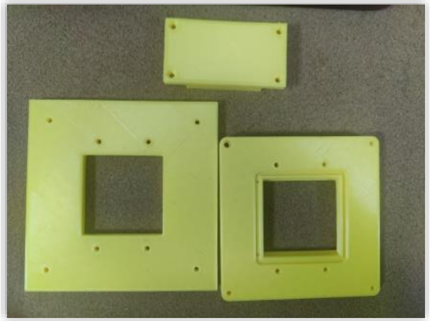


ColdBox V2

Cooler for V2



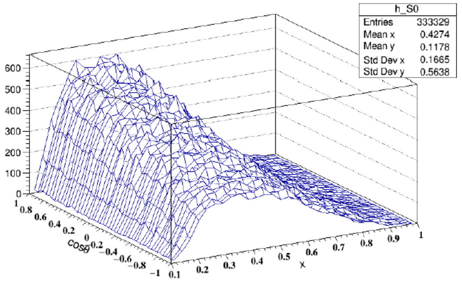
3D-printed mechanical prototypes



其他工作

- **CEPC上顶夸克电弱耦合测量研究**
- **目标：**研究CEPC上顶夸克电弱耦合测量的灵敏度
- **本季度工作进展：**

✓利用MadGraph+Pythia产生360GeV ttbar样本，检验样本中differential的正确性
✓将样本通过cepcsoft框架完成全模拟和重建



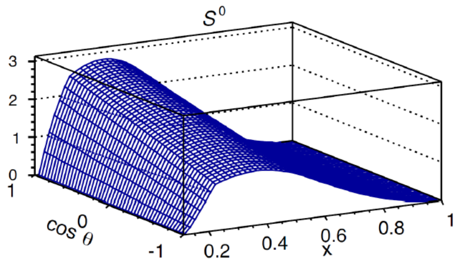
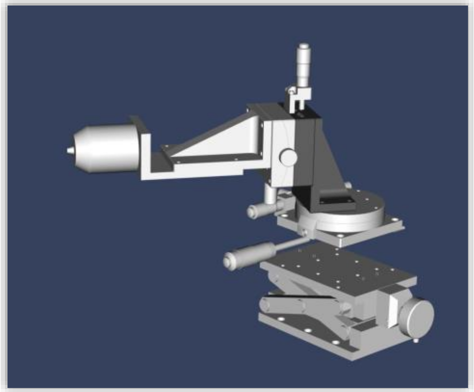
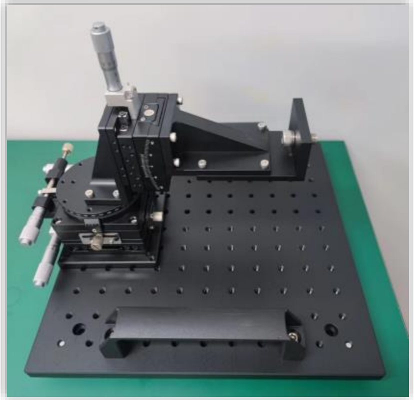


Figure in 1503.01325

- **ATLAS ITk 硅微条探测器模块生产**
- **本季度工作进展：**

✓ 负责将Hybrid，Powerboard和Sensor组装成为Module，完成3块模块的组装：PPA-LS1，PPA-SS1，PPA-SS2
✓ 设计和组装bonding线修复装置
✓ 牵头负责根据IHEP PPB-1 production readiness review改进生产中的问题并回复意见





总结

- 深度学习算法在CEPC上Higgs衰变事例分类的应用
  - 相关文章完成并被CPC接收
- ATLAS上boosted W/Z喷注标记的研究
  - 在ATLAS jet tagging and scale factors combined performance group 组多次做报告
  - 初步结果显示ParticleNet和ParticleTransformer算法性能在此任务上表现大幅超过当前官方推荐算法
  - 将于6th ATLAS Machine Learning Forum报告此研究
  - 将推动其成为ATLAS官方推荐的boosted W/Z喷注鉴别方法
- ATLAS ITk 硅微条探测器项目中IHEP站点生产流程管理网页开发
  - 网页基本架构确定，权限控制、本地数据存储、任务下发与监控和部分生产步骤的标准操作规程嵌入已实现
  - 将继续迭代和完善该网页
- ATLAS ITk硅微条探测器CSNS站点辐照测试研究中ColdBox的设计
  - 第一版ColdBox完成设计制造，满足基本需求，已应用到一次辐照测试中
  - 第二版ColdBox完成初步设计，正在进行原型验证
- 其他工作
  - CEPC上顶夸克电弱耦合测量研究——完成样本产生和全模拟
  - ATLAS ITk 硅微条探测器模块生产——参与生产多个模块，设计bonding线修复工具，牵头组织回复IHEP PPB-1 production readiness review

谢谢！